

糖類添加卵ゲルのレオロジー的特性

Rheological Properties of Egg Gel with Saccharide

高山 真衣¹・河村 フジ子²

Mai TAKAYAMA and Fujiko KAWAMURA

はじめに

鶏卵は日本で最も一般的な食材料であり、ゲル形成性、気泡性、乳化性に優れ、ゆで卵、卵焼き、茶碗蒸、メレンゲ、マヨネーズなど様々な調理で用いられる。また鶏卵は製菓にも多く用いられ、その際、砂糖など様々な糖類が加えられる。鶏卵への糖類の添加は、卵ゲルを軟らかくする事がよく知られている^{1)~4)}。また、鶏卵への塩やpHの影響についての報告は数多くされている^{5)~10)}。しかし、糖類の種類や添加濃度による違いについての報告はあまりない。

そこで本実験では鶏卵に単糖類、二糖類、糖アルコール、多糖類を加えたゲルについて検討を行った。単糖類ではグルコース、二糖類ではスクロース、糖アルコールではソルビトールを用い、多糖類では調理で良く用いられるじゃがいも澱粉、工業的に使用頻度の高いキサンタンガムについて、糖類の種類、濃度が卵ゲルの物性に及ぼす影響について検討した。

実験方法

1. 実験試料

鶏卵は、タカノ産の産卵2日目、白色レグホン種の無性卵を用い、購入後は5℃で保存した。グルコース、スクロース、ソルビトールは関東化学1級を用い、キサンタンガムは東京化成、じゃがいも澱粉は北海道産の製品を用いた。

2. 試料調製

割卵し全卵を16メッシュで裏ごしし、卵液と

した。この際カラザ、卵黄膜は取り除いた。卵液20gに蒸留水(以下水と記す)を20g加え40回攪拌した。プリン型にポリエチレンシートをひき、卵液を入れ、アルミ箔で蓋をした。蒸し器で25℃から85℃まで温度を上昇させ、15分間85℃を維持した。加熱後直ちに4℃で20分間冷却した。このときの温度変化を図1に示した。このように、作製した卵白ゲルを以下無添加卵ゲル(N)とする。

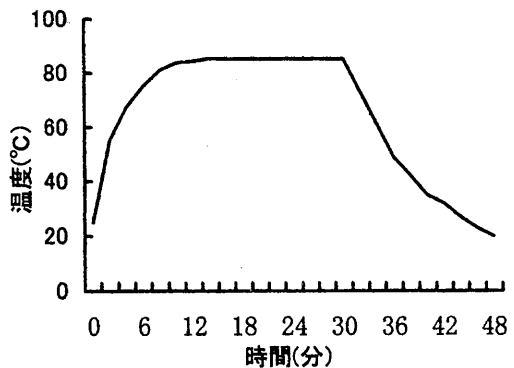


図1 試料調製時の温度変化

グルコース、スクロース、ソルビトールの添加方法は、各糖類を2, 4, 6, 8, 10, 12g(全重量40gの5, 10, 15, 20, 25, 30%)に水を加えて加熱し、加熱後常温で冷却し20mlにメスアップし糖溶液とした。このように作製した各濃度の糖溶液に卵液を加え無添加卵ゲルと同様の方法で、攪拌、加熱、冷却を行い測定用試料とした。このように作製したグルコース添加卵ゲル(G)、スクロース添加卵ゲル(S)、ソルビトール添加卵ゲル(D)を測定用試料とした。

キサンタンガム、じゃがいも澱粉の添加方法は、0.04g(全重量40gの0.1%)のキサンタン

1 生活科学研究所 研究生

2 第四調理学研究室

ガムに水を加えて20gとし5℃で24時間膨潤させたキサンタンガム溶液を用いた。じゃがいも澱粉は、0.4g(全重量40gの1%)に水を加え60℃まで加熱し半糊化させ、20mlに定量したじゃがいも澱粉溶液を用いた。このように作製した溶液を用い、無添加卵ゲルと同様の方法でキサンタンガム添加卵ゲル(X)、じゃがいも澱粉添加卵ゲル(P)を作製した。

このように作製した試料で離漿率測定、テクスチャー測定、クリープ測定、表面構造の観察を行った。

動的粘弾性測定の試料は卵液5mlにグルコース、スクロース、ソルビトール溶液(添加濃度5, 15, 30%)、キサンタンガム溶液(添加濃度0.1%)、じゃがいも澱粉溶液(添加濃度1%)の各5mlを加え、40回攪拌し測定用試料とした。

測定方法

1. 離漿率

作製した卵白ゲルを容器から出し、2分間放置後、離漿分を濾紙で吸着させ、その重量増加分を測定し、卵ゲル重量に対する百分率(%)を離漿率とした。

2. 物性

レオロメーター(山電製 RE-3305)を用い測定を行った。卵白ゲルを20℃まで冷却後、2cm×2cm×1cm(縦×横×高さ)に切断した試料のテクスチャー(硬さ、凝集性)、クリープ特性値を測定した。テクスチャーの測定条件は、プランジャー直径5mm円形を用い、圧縮率は50%で行った。

クリープの測定条件はプランジャー直径30mmの円形、荷重は線型性の範囲である10gとし、圧縮時間5分、圧縮スピード5mm/sec、除重時間5分で行った。得られたクリープ曲線から6要素フォークト模型により粘弾性定数を求めた。

3. 動的粘弾性

レオログラフゾル(東洋精機)により動的粘弾性を求めた。測定条件は周波数3Hz、試料

1.5ml、25℃から85℃の温度変化に伴う貯蔵弾性率(G')、損失弾性率(G'')から熱依存性による弾性、粘性の変化を調べた。このときの加熱速度は卵白ゲル作製時の温度上昇と同様の条件で行った。測定時の水分の蒸発を防ぐために2.5cSのシリコンオイルを試料にのせた。

結果および考察

1. 糖の種類・濃度が卵ゲルの離漿率に及ぼす影響

糖の種類・濃度が異なる卵ゲルからの離漿率を図2・3に示した。

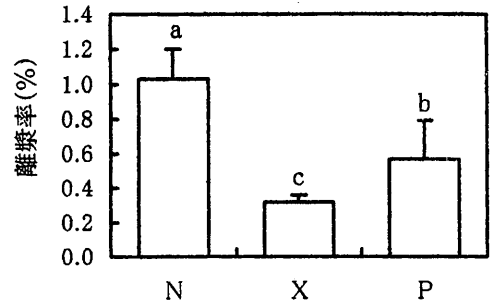


図2 多糖類添加が卵ゲルの離漿率に及ぼす影響

N: 無添加卵ゲル

X: キサンタンガム添加卵ゲル

P: じゃがいも澱粉添加卵ゲル

- 値は5平均値±標準偏差
- 異なる値は5%以下の危険率で有意差があることを示す。

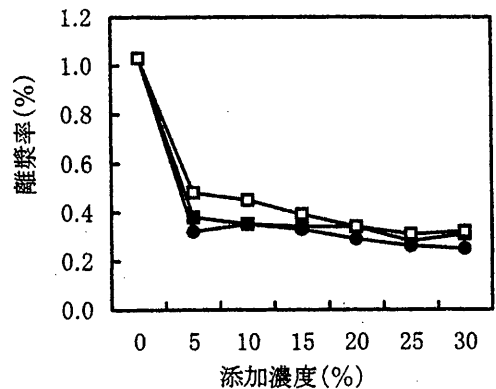


図3 糖の種類・濃度が卵ゲルの離漿率に及ぼす影響

図2よりキサントガム、ジャがいも澱粉添加卵ゲルは無添加卵ゲルに比べ卵ゲルからの離漿率を有意 ($p < 0.05$) に抑制した。キサントガム、ジャがいも澱粉は卵ゲル中の自由水を十分に吸収し卵ゲルからの離漿を抑制したと考えられる。特にキサントガムはジャがいも澱粉に比べ卵ゲルからの離漿を抑制していた。

図3より、無添加卵ゲルに比べ、グルコース、スクロース、ソルビトールを添加した卵白ゲルからの離漿率は有意 ($p < 0.05$) に減少した。グルコース、スクロース、ソルビトールとの間に差は見られず、糖の種類による違いはないことがわかった。また、各糖溶液の添加濃度においても高濃度と低濃度との間に有意差は見られず、このことから、糖の添加は低濃度においても卵ゲルからの離漿を抑制する事が分かった。糖類は水分子と結合し低濃度においても卵ゲルからの離漿を抑制していると考えられる。

2. 糖の種類・濃度が卵ゲルのテクスチャーに及ぼす影響

糖の種類・濃度が異なる卵ゲルのテクスチャーを表1・2・3に示した。糖添加濃度30%では軟らかく測定不可能なため、以降の添加濃度を5, 10, 15, 20, 25%とした。

表1は、キサントガムの添加により無添加卵ゲルに比べ有意 ($p < 0.05$) に軟らかい卵ゲルになったことを示す。ジャがいも澱粉添加卵ゲルでは添加により無添加卵ゲルに比べ有意 ($p < 0.05$) に硬い卵ゲルになった。ジャがいも澱粉は卵より低温でゲル化する。そのため、卵ゲルに比べ硬くなったと考えられる。凝集性においてはキサントガム、ジャがいも澱粉の添

加による影響はみられない。

表2は、糖の種類・濃度が異なる卵ゲルの硬さについて示したもので、グルコース、スクロース、ソルビトールの添加により卵ゲルは有意 ($p < 0.05$) に軟らかくなった。糖の添加は卵タンパク質の熱変性を抑制する作用がある。また、どの種類の糖においても添加量が増すにつれ卵ゲルは軟らかくなった。糖の種類が異なる卵ゲルにおいては、スクロースを添加した卵ゲルは5%添加から急激に軟らかくなるのに対しグルコース、ソルビトールを添加した卵ゲルは糖の添加により軟らかくなるが15%までは徐々に軟らかくなり15%からは急激に軟らかい卵ゲルになった。ソルビトール添加に比べ、グルコース添加では15%以上になると急激に軟らかくなることがわかった。このことから糖の添加により卵ゲルは軟らかくなり、添加濃度においては糖の種類により差が見られることがわかった。

表3は、糖の種類・濃度が異なる卵ゲルの凝集性について示したもので、グルコース、スクロース添加卵ゲルと無添加卵ゲルとの間に有意差は見られなかった。ソルビトール添加においては無添加卵ゲルに比べ有意 ($p < 0.05$) に軟らかいゲルになった。糖添加濃度が増しても凝集性に差は見られなかった。以上のことから卵への糖の添加は卵ゲルを軟らかくする、凝集性においてはソルビトール添加は凝集性が小さいゲルになったがグルコース、スクロースにおいて差は認められなかった。

3. 糖の種類・濃度が卵ゲルの粘弾性に及ぼす影響

糖の種類・濃度が異なる卵ゲルの粘弾性を表

表1 多糖類添加が卵ゲルのテクスチャーに及ぼす影響

試料	無添加卵ゲル	キサントガム添加卵ゲル	ジャがいも澱粉添加卵ゲル
硬さ $\times 10^3 \text{N/m}^2$	10.48 ^a \pm 0.45	5.29 ^b \pm 0.93	11.38 ^a \pm 0.82
凝集性 $\times 10^{-1} \text{T.U.}$	4.37 ^a \pm 0.20	3.62 ^b \pm 0.12	4.28 ^a \pm 0.26

・値は3個の平均値 \pm 標準偏差

・異なるアルファベットは5%以下の危険率で有意差があることを示す

表2 糖の種類濃度が卵ゲルの硬さに及ぼす影響

添加濃度	5%	10%	15%	20%	25%
グルコース添加卵ゲル	4.57 ^{bc} ±0.20	4.71 ^a ±0.18	4.28 ^c ±0.18	4.66 ^{ab} ±0.21	4.24 ^c ±0.13
スクロース添加卵ゲル	4.33 ^b ±0.19	4.71 ^a ±0.01	4.76 ^a ±0.11	4.20 ^b ±0.26	4.57 ^a ±0.12
ソルビトール添加卵ゲル	3.38 ^c ±0.17	3.52 ^b ±0.10	3.81 ^a ±0.38	4.08 ^a ±0.25	3.99 ^a ±0.26

- ・値は3個の平均値±標準偏差
- ・異なるアルファベットは5%以下の危険率で有意差があることを示す

表3 糖の種類濃度が卵ゲルの凝集性に及ぼす影響

添加濃度	5%	10%	15%	20%	25%
グルコース添加卵ゲル	9.80 ^a ±0.50	9.15 ^a ±0.25	4.99 ^b ±0.99	4.99 ^b ±0.48	4.66 ^b ±1.04
スクロース添加卵ゲル	8.32 ^a ±0.76	7.49 ^{ab} ±0.50	5.52 ^c ±0.89	6.65 ^{bc} ±0.58	6.32 ^c ±0.29
ソルビトール添加卵ゲル	10.32 ^a ±0.58	10.15 ^a ±0.76	8.32 ^b ±0.88	7.49 ^{bc} ±0.31	6.49 ^c ±0.86

- ・値は3個の平均値±標準偏差
- ・異なるアルファベットは5%以下の危険率で有意差があることを示す

4, 図4, 5に示した。

表4は、瞬間弾性率はキサントタンガムの添加により有意(p<0.05)に低くなり、弾力性が小さいゲルになったことを示す。じゃがいも澱粉添加は無添加との間に差は見られなかった。定常粘性率においては、キサントタンガム、じゃがいも添加は定常粘性率が高く、変形しにくいゲルになった。遅延粘弾性においてはキサントタンガム、じゃがいも澱粉の添加による差はみられなかった。

図4, 5は、糖の種類・濃度が異なる卵ゲルの粘弾性について示したものである。E0とNNで歪の80.6%を占めほぼ全体を説明することが

できるため、本報ではE0とNNのみで報告を行う。

瞬間弾性率ではグルコース、スクロース、ソルビトールの種類による差は認められなかった。また、糖の種類による差は5, 10, 15, 20, 25%濃度においても差は見られない。NNにおいては糖の添加濃度が増すにつれ、粘りが強い卵ゲルになった。特にスクロースを添加した卵ゲルは添加濃度が高くなるにつれ粘りが強い卵ゲルになった。グルコース、ソルビトール添加では15%以上になると粘性率の増加が緩慢になった。このことから、糖の添加により卵ゲルの弾力においては差が見られないが、粘性において

表5 多糖類添加が卵ゲルの粘弾性に及ぼす影響

	無添加卵ゲル	キサントタンガム添加	じゃがいも澱粉添加
E0(×10 ³ N/m ²)	5.88 ^a ±0.67	4.35 ^b ±0.18	5.71 ^a ±0.54
E1(×10 ⁴ N/m ²)	2.08 ^a ±0.17	1.58 ^c ±0.03	1.81 ^b ±0.11
E2(×10 ⁴ N/m ²)	2.74 ^a ±0.28	2.01 ^b ±0.27	2.64 ^a ±0.18
T1(sec)	54 ^a ±1	54 ^a ±1	52 ^a ±2
T2(sec)	7 ^a ±1	6 ^a ±1	6 ^a ±1
N1(×10 ⁵ Pa.s)	8.96 ^a ±0.11	7.72 ^b ±0.62	8.97 ^a ±0.47
N2(×10 ⁵ Pa.s)	1.51 ^a ±0.04	1.30 ^b ±0.16	1.44 ^{ab} ±0.27
NN(×10 ⁶ Pa.s)	4.18 ^b ±0.01	4.87 ^a ±0.04	4.87 ^a ±0.02

- ・値は3個の平均値±標準偏差
- ・異なるアルファベットは5%以下の危険率で有意差があることを示す

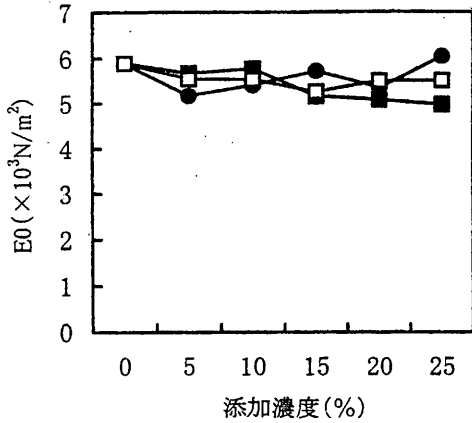


図4 糖の種類・濃度が卵ゲルの瞬間弾性率に及ぼす影響

- グルコース
- スクロース
- ソルビトール

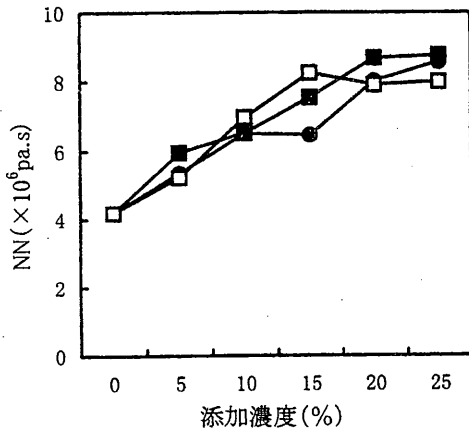


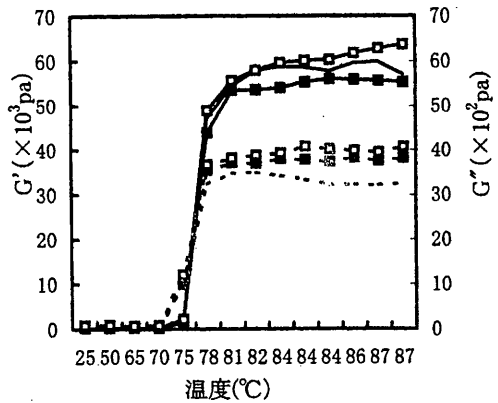
図5 糖の種類・濃度が卵ゲルの定常粘性率に及ぼす影響

- グルコース
- スクロース
- ソルビトール

は糖の添加濃度が増すにつれその値は高くなり変形しにくい卵ゲルになった。

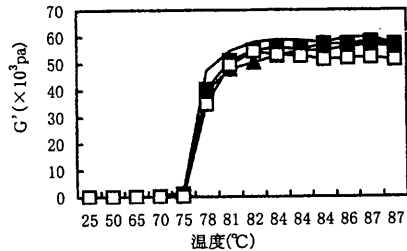
4. 糖の種類・濃度が卵ゲルの動的粘弾性に及ぼす影響

次に糖の添加による加熱中のゲル内部の変化を知るために動的粘弾性測定を行った。糖の種類・濃度が異なる卵ゲルの動的粘弾性を図6, 7, 8に示す。

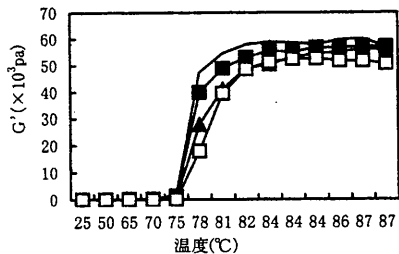


- 貯蔵弾性率
- 損失弾性率
- 無添加卵ゲル
- キサンタンガム添加
- ジャガイモ澱粉添加

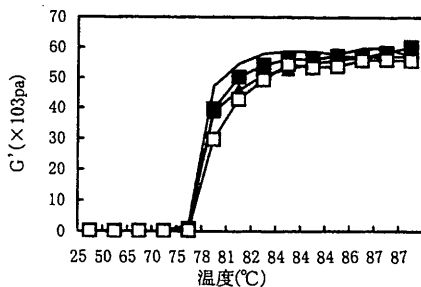
図6 糖の種類・濃度が卵ゲルの動的粘弾性に及ぼす影響



グルコース添加濃度が異なる卵の動的粘弾性



スクロース添加濃度が異なる卵の動的粘弾性



ソルビトール添加濃度が異なる卵の動的粘弾性

- 無添加卵ゲル
- 5%
- ▲— 15%
- 30%

図7 糖の種類・濃度が卵ゲルの貯蔵弾性率に及ぼす影響

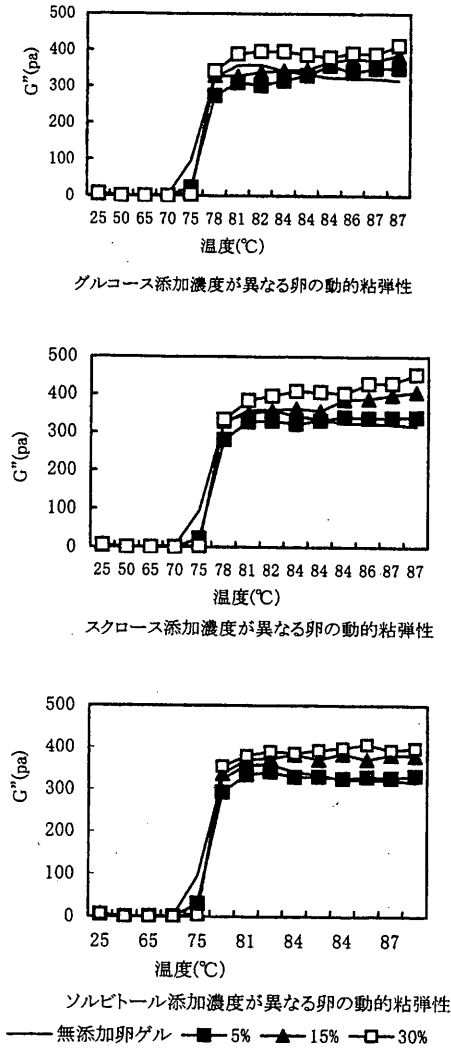


図8 糖の種類・濃度が卵ゲルの損失弾性率及ばず影響

図6より、多糖類の添加による卵の熱変化開始温度に差は見られなかった。最終的な貯蔵弾性率において無添加とキサンタンガム添加の間に差は認められなかった。しかし、じゃがいも澱粉では無添加、キサンタンガム添加に比べ最終的な貯蔵弾性率に有意差 ($p < 0.05$) が認められた。損失弾性率においても、貯蔵弾性率と同様に熱変化開始温度に差は見られなかった。最終的な損失弾性率においてはキサンタンガム、じゃがいも澱粉添加により値が高くなり、粘りが強くなったことがわかった。キサンタンガム、

じゃがいも澱粉はそれ自体にねばりがあるため値が高くなったと考えられる。

図7, 8に、糖の種類・濃度が異なる卵ゲルの動的粘弾性について示した。図7の貯蔵弾性率の変化により、グルコース、スクロース、ソルビトール添加においてどの濃度においても無添加卵ゲルに比べ、熱変性開始温度が低くなることがわかった。グルコース添加卵ゲルでは無添加卵ゲルの熱変性開始温度は71°Cからスクロースと同様に熱変性開始温度は高くなった。ソルビトールはグルコース、スクロースに比べ無添加卵ゲルに近い曲線を示した。最終的な貯蔵弾性率に差は見られなかった。最終的な貯蔵弾性率の結果はクリープ特性値の瞬間弾性率にほぼ一致した。

図7より、熱変性開始温度は貯蔵弾性率と同様にグルコース、スクロース、ソルビトールの添加により高温になった。グルコース添加濃度が高くなるにつれ最終的な損失弾性率も高くなった。添加濃度30%においては熱変性開始後、急激に損失弾性率が上昇し、その後はその値をほぼ維持した。スクロース添加はグルコース添加に比べ最終的な損失弾性率において添加濃度5%では無添加卵ゲルに比べ差は見られなかったが、添加濃度10, 15%においては有意差が認められた。ソルビトール添加においては、最終的な損失弾性率は添加濃度5%では無添加卵ゲルに最も近い値を示した。糖添加濃度15, 30%では5%に比べ最終的な損失弾性率は高くなった。この結果はクリープ特性値の定常粘性率に一致した。

要約

鶏卵へのグルコース、スクロース、ソルビトールの添加は卵ゲルを軟らかくし、粘りを増加させる。しかし、凝集性、弾力性には変化が認められなかった。鶏卵は加熱により卵タンパク質の分子鎖や球状分子が部分変性し、疎水基間で結合がおりミセル構造ができ、自由水を取り込みながらコロイド分散系全体が流動性を失ってゲル化する。糖の添加により糖分子が水分子と結合して水分子の運動性が抑制されるため粘りが増し、軟らかい卵ゲルになると考えられる。また糖分子が水分子と結合しているため離漿が減少した。糖の添加濃度が高くなるにつれ、糖分子と水分子の結合が強くなり、軟らかく、粘りが強い卵ゲルになった。糖の種類においてはソルビトールはグルコース、スクロースと異なり糖アルコールであり水分子との結合が弱いため低濃度においては無添加卵ゲルに近い物性になった。また、糖の添加により卵タンパク質の熱変性開始温度が上がり変性しにくくなることがわかった。多糖類の添加において、キサンタンガム添加は卵ゲルの離漿を抑制し、卵ゲルは軟らかくなり粘性が増した。じゃがいも澱粉添加は無添加卵ゲルに最も近い物性を示した。キサンタンガム、じゃがいも澱粉は粘性が高いため、添加卵ゲルにおいて定常粘性率、損失弾性率の高いゲルになった。

参考文献

- 1) 山脇芙美子, 松元文子: 鶏卵の調理に関する研究ブディングの加熱条件, 家政学雑誌, 14, 1963, 155-160
- 2) 中濱信子, 前田フミ子, 鯨井誠子: 卵白ゲルのレオロジー的研究 (1), 家政学雑誌, 18, 1967, 365
- 3) 齊田由美子, 村田安代, 松元文子: 卵液の熱凝固について (1), 家政誌, 27, 1976, 403
- 4) 菊地榮一, 動物タンパク質食品, 朝倉書店, 1994, 107

- 5) 小川宣子: 加熱速度, 食塩濃度が卵白ゲルの物性および表面構造に及ぼす影響, 日食工誌, 41, 1994, 191-195
- 6) 小川宣子, 田名部尚子: 貯蔵殻付卵の加熱卵白ゲルに対する塩処理の影響, 日食工誌, 38, 1991, 1117-1123
- 7) 久塚智明, 小川宣子, 渡辺乾二: 茶碗蒸の物性に及ぼす影響因子の解析 (2), 調理科学誌, 2000, 451-456
- 8) 齊田由美子, 村田安代, 松元文子: 卵液の加熱凝固について, 家政誌, 27, 1976, 403-411
- 9) 田島真理子: 締め卵の性状に及ぼす調製条件の影響について, 調理科学, 32, 1999, 109-114
- 10) 小川宣子: 鶏卵の熱凝固性, Food Industry 36, 1994, 63-80
- 11) 仲村良: 卵の科学, 朝倉書店, 1998, 80